한국 비만 여성에서 열량제한 식사에 의한 근육 간 지방량의 감소

박지숙¹, 이해옥², 김영설³, 임정은^{1,*}

¹창원대학교 식품영양학과, ²강동경희대학교 병원 영양팀, ³경희대학교병원 내분비내과

Decreased Intermuscular Adipose Tissue due to Caloric Restriction in Obese Korean Women

Ji-Sook Park¹, Hye-Ok Lee², Young-Seol Kim³, Jung-Eun Yim^{1,*}

¹Department of Food & Nutrition, Changwon National University, Changwon; ²Nutrition Team, Kyung Hee University Hospital at Gangdong, Seoul; ³Department of Endocrinology and Metabolism, Kyung Hee University Hospital, Seoul, Korea

Background: This study investigated the effects of caloric restriction on thigh intermuscular adipose tissue (IMAT) and the associations of IMAT and metabolic risk factors. **Methods:** Thirty-three obese Korean women (BMI 27.2 ± 2.5 kg/m²; 32.3 ± 8.7 years) were tested before and after 12 weeks of 354.7 kcal/day dietary caloric restriction: waist circumference (WC); %fat according to bioimpedence; subcutaneous adipose tissue (SAT); visceral adipose tissue (VAT); IMAT using single-slice CT scans at the levels of L4/L5 and mid-thigh (midpoint between the anterior iliac crest and patella); fasting levels of leptin, glucose, insulin, triglycerides, total-C, LDL-C, HDL-C, and HOMA-IR. Paired *t*-test and Spearman correlation analysis were performed. **Results:** WC, %fat, leptin, glucose, total-C, abdominal SAT and VAT, and mid-thigh IMAT decreased ($P < 0.05$), and %change in mid-thigh IMAT correlated with %change in HOMA-IR ($P < 0.05$). **Conclusion:** Caloric restriction decreased the mid-thigh IMAT in obese Korean women, which may be correlated with reduction of metabolic risk.

Key words: Caloric restriction, Intermuscular adipose tissue (IMAT), Obesity

서 론

비만은 전 세계적으로뿐만 아니라 국내에서도 급격한 증가하는 추세를 보이고 있다. 비만의 원인은 신체활동의 부족 및 식생활의 서구화 등에 의한 에너지 섭취와 소비의 불균형으로 설명되어진다.¹ 2010년 국민건강영양조사에 의하면 체질량지수 25 kg/m² 이상인 비만이 성인 3명 중 1명으로 나타났다.² 성인 남자의 경우 30대에 42.3%, 40대에 41.2%, 50대에 36.8%, 60대에 37.8%로 나타나 30-40대에 비만 유병률이 가장 높고, 성인 여자의 경우에는 20대에는 저체중의 빈도가

높다가 30대에 19.0%, 40대에 26.7%, 50대에 33.8%, 60대 43.3%로 중년 이후 폐경과 더불어 50-60대에 비만 유병률이 증가하는 경향을 보였다.²

비만은 단순한 과다 체중의 문제가 아닌 인슐린저항성 증가로 인한 고인슐린혈증(hyperinsulinemia) 또는 혈중 지질 대사 이상 등으로 인하여 당뇨병, 고혈압, 심혈관계질환, 일부 악성종양의 발생과 이들 질환으로 인한 사망률 증가에 직접 관여한다.³ 비만과 관련된 여러 합병증은 체지방량과 밀접히 관련되어 있으며, 또한 체지방 분포에 따라 비만과 관련된 질병 위험도 및 발병률이 다르게 나타난다고 보고

Corresponding author Jung-Eun Yim

Department of Food and Nutrition, Changwon National University, 92 Toechon-ro, Uichang-gu, Changwon 641-773, Korea
Tel +82-55-213-3517 Fax: +82-55-281-7480 E-mail: jeyim@changwon.ac.kr

This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education, Science and Technology (2013R1A1A3010917).

Copyright © 2015 Korean Society for the Study of Obesity

© This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received Sep. 18, 2014 Reviewed Dec. 1, 2014 Accepted Jan. 9, 2015

되었다.⁴ 체내 내장 지방량은 피하지방보다 동맥경화의 위험 증가 및 인슐린 저항성 증가와 더욱 밀접히 관련되어 있다. 특히 우리나라의 경우 서구와 비교하여 복부 비만율이 높다고 보고되고 있어 지방 분포에 따른 비만 측정이 중요시 되고 있다.⁵

최근 내장지방과 함께 근육 간 지방조직(intermuscular adipose tissue, IMAT) 역시 연령 증가에 따라 증가하며, 최근의 연구에서 근육 간 지방이 내장지방 못지않게 여러 대사 질환 위험과 관련성이 높다고 보고하였다.⁶ 근육 간 지방이란 근육 사이에 존재하는 지방조직으로 정의되며, 피하지방과 비교하여 1-2 kg으로 적은 양으로 존재한다.⁷ 선행 연구들에서 근육 간 지방량이 많아질 경우 내장지방과 독립적으로 높은 인슐린 저항성, 혈당, 콜레스테롤 등과 연관이 있음이 밝혀졌다.⁸ 그러나 국내에서 비만인을 대상으로 근육 간 지방을 측정하는 연구가 전무한 실정이다.

체중 감소가 체내 내장지방을 감소시키고 비만으로 인한 대사적 질환을 개선시키는 것으로 볼 때, 체중 감량을 통하여 근육 내 지방을 감소시킬 수 있을지에 대한 연구가 필요할 것으로 사료 된다. 외국의 경우 체중 감량을 통하여 근육 내 지방량이 감소되었다는 연구가 보고되고 있으나 국내에서는 보고된 바가 없다.⁹ 근육 간 지방이 내장지방 못지않게 여러 대사 질환 위험과 관련성이 높다는 것을 고려할 때 열량 제한 식사를 통한 체중감량, 체지방량 감소가 근육 간 지방량에 어떤 영향을 미치는지 알아볼 필요가 있다고 사료된다.

따라서 본 연구에서는 한국인 비만 성인 여성의 대상으로 12주간의 열량 제한 식사가 근육 간 지방량에 미치는 영향을 관찰하고, 이와 관련한 대사 질환의 위험요소 감소에 효과가 있는지 고찰하고자 하였다.

방 법

1. 연구 대상자

본 연구는 서울 소재의 K대학 병원을 방문하여 열량제한 식사 교육프로그램¹⁰을 참여한 33명의 체질량지수 25 이상인 폐경 전 성인 여성 중, computed tomography (CT) 결과 수집이 가능한 대상자만을 선택하여 자료를 재분석하였다(IRB No : KMC IRB 2003-09-차). 연구 대상자는 비만으로 인한 이차적 질병이 있거나 비만으로 인한 다른 약물 치료, 운동치료를 받는 경우, 당뇨병 진단 또는 경구 혈당 강하제를 복용 중인 경우, 폐경이 진행되거나 폐경이 된 경우, 간이나 신장 질환이 있는 경우 연구에서 제외 하였다.

2. 신체 계측사항

연구 대상자 첫 방문 시, 12주 후 마지막 방문 시 두 번의 신체검사를 실시하였다. 자동측정기(Body fat analyzer TBF-202, Japan)를 이용하여 신발을 벗은 채 가벼운 옷차림으로 연구 대상자의 키와 체중,

체지방량(fat mass), 체지방 분포 정도(fat percent, %), 제지방량(lean body mass, LBM), 체수분량(total body water, TBW)을 측정하였다. 비만 정도를 나타내는 체질량지수(body mass index, BMI)는 측정된 체중에서 키의 제곱을 나눈 값을 계산하여 산출했다. 줄자를 이용하여 선 자세에서 팔을 벌린 채로 허리둘레는 최하위 늑골하부와 골반 장골능 사이를 2번씩 측정하여 평균값을 허리둘레로 하였고, 엉덩이 둘레는 엉덩이의 가장 넓은 부위를 각각 2번씩 소수점 첫째자리까지 측정하여 평균값을 이용하였다. 허리-엉덩이 둘레비(waist-to-hip ratio, WHR)는 허리둘레를 엉덩이둘레로 나누어 계산하였다. 허리둘레-신장비(waist-height ratio)는 허리둘레를 측정된 키의 값을 나누어 계산하였다. 연구를 위해 측정된 모든 값은 훈련된 1명의 조사자에 의하여 측정되었다.

3. 열량 제한 식사교육

연구 기간 동안 참가자들은 1주, 2주, 4주, 8주, 12주의 총 5회 방문하여 1인의 임상영양사에 의하여 1:1 면접 형식으로 열량 제한 식사 교육을 받았다. 2주차와 마지막 방문 시 제출할 식사 일기를 배부하여 식사일기의 작성 요령에 대하여 교육하였다. 참가자들의 식사 섭취에 대한 정보는 첫 방문 시와 마지막 방문 시 제공 받은 평일 2일, 주말 1일을 기록한 식사일기를 통하여 수집하였으며 식사 섭취량 분석은 영양평가 프로그램(Computer Aided Nutritional Analysis for Professionals, CAN Pro, Ver 4.5, 한국영양학회)를 사용하였다.

4. 내장 지방, 피하 지방, 근육 간 지방 측정

연구의 모든 참가자는 첫 방문 시와 12주 후 마지막 방문 시, 컴퓨터 단층촬영(computed tomography, CT; PQ6000 scanner, General Electric Medical Systems, Milwaukee, WI)을 통하여 내장 지방과 복부 피하지방을 측정하였다. 연구 대상자는 팔을 머리 위로 올리고 천장을 보고 누운 자세를 취하고 허리의 굴곡을 줄이기 위하여 무릎 아래에 지지대를 놓고 검사를 시행하였다. 촬영 영상 스캔 범위는 흉골 지하 방에서 치골 결합까지로 정하여, 척추 뼈 L4-L5 부위를 관찰하였다. 복부지방은 도식적 모형을 기초로 하여 배꼽을 중심으로 상하로 1단씩 가로로 절단(transverse section)하여 촬영하였다. 대퇴부 근육 간 지방은 엉덩뼈능선(iliac crest)과 무릎뼈(patella) 중간 지점을 지정하여 근육군(muscle groups) 사이와 근막(muscle fascia) 밑에 존재하는 근육 간 지방 조직을 측정하였다. 다른 연구¹⁰와 마찬가지로 촬영 단면에서의 Hounsfield Units이 -190에서 -30 사이의 조직을 지방으로 하여 총 복부지방 부피를 구하였다.

측정된 CT 영상은 SLICEOMATIC image analysis software (version 4.2; Tomovision, Montreal, Canada)를 통하여 분석되었다. 복부와 배부의 복막을 경계로 안쪽을 내장지방으로 바깥쪽을 피하지방으로

로 나누어 각각의 촬영화면을 분석하였다. 대퇴부 영상은 대퇴부 가장 자리 및 뼈, 근육, 지방량 등의 관심 부분의 가장 자리를 trackball을 이용하여 cursor를 따라 영상을 본떠 그렸다. Hounsfield Units (HU) 200 이상을 뼈 조직으로 분류하였고 -30에서 -190 HU를 지방 조직으로 0에서 100 HU를 근육으로 분류하여 측정하였다. 본떠진 영상 화면은 히스토그램에 근거를 둔 용적 분석으로 면적을 구하였다. CT 영상을 직접 분할하는 작업은 시간이 많이 소요되고 오진단율이 높기 때문에 동일한 분석자에 의해서 분석되었다(Columbia University, Obesity Research Center, New York, USA).

5. 대사적 지표 검사

연구 대상자는 첫 방문 시와 12주 후 마지막 방문 시 두 번의 혈액검사를 실시하였다. 12시간 이상 공복을 유지한 상태에서 대상자의 상완정맥에서 혈액을 채취하여, 공복 혈당, 인슐린, 중성지방, 총콜레스테롤, HDL-콜레스테롤, LDL-콜레스테롤, aspartate aminotransferase (AST), alanine aminotransferase (ALT), 랩틴을 측정하였다. 인슐린 저항성 평가(homeostasis model assessment insulin resistance, HOMA-IR)는 다음의 수식을 이용하여 계산했다.

$$\text{HOMA-IR} = \text{fasting insulin } (\mu\text{U/mL}) \times \text{fasting blood glucose } (\text{mmol/L}) / 22.5$$

혈압은 10-15분의 휴식 시간을 가진 후 앉은 자세에서 수축기 혈압과 이완기 혈압을 각각 2번씩 측정하여 평균값을 사용하였고, 1명의 훈련된 조사자에 의하여 측정되었다.

Table 1. Anthropometric variables before and after calorie intake restriction

	Baseline	12 weeks	Percents of change	P value
Age (year)	32.32±8.72			
Height (cm)	161.11±5.10			
Weight (kg)	70.69±7.24	68.75±7.00	-2.7	<0.05
BMI (kg/m ²)	27.22±2.47	26.49±2.53	-2.7	<0.05
WC (cm)	90.41±5.64	85.11±5.94	-5.8	<0.05
HC (cm)	101.88±4.96	99.51±5.20	-2.3	<0.05
W/H ratio	0.89±0.05	0.86±0.05	-3.6	<0.05
W/Ht ratio	0.56±0.04	0.53±0.04	-5.8	<0.05
Fat mass (kg)	26.78±5.19	24.47±4.93	-8.2	<0.05
Fat percents (%)	37.63±4.08	35.33±3.93	-5.8	<0.05
LBM (kg)	43.93±3.62	44.28±3.48	0.9	NS
TBW (kg)	32.15±2.65	31.93±2.98	-0.5	NS

Values are Mean±SD.

Before, before calorie intake restriction; After, after calorie intake restriction; NS, non-significant; BMI, body mass index; WC, waist circumference; HC, hip circumference; W/H ratio, waist/hip ratio; W/Ht ratio, waist/height ratio; LBM, lean body mass; TBW, total body water.

P value, significantly different before and after energy intake restriction by paired *t*-test.

6. 통계 분석

연구의 모든 자료는 통계분석프로그램 SAS(Statistical Analysis System version 9.1)를 이용하였으며 결과 값은 평균(mean)과 표준편차(standard deviation, SD)로 나타내었다. 열량 제한 식사 교육 전, 후의 신체 측정 사항과 식사 섭취량 변화, 지방 분포에 따른 결과 값은 paired *t*-test를 이용하였다. 체내 지방량과 생화학 지표와의 상호 간 상관관계는 Pearson 상관계수로 검정하였으며, 모든 통계분석 결과는 $P < 0.05$ 수준에서 유의성을 검증하였다.

결 과

1. 신체구성변화

12주간의 열량 제한 식사 이전과 이후의 신체구성 변화는 Table 1과 같다. 열량 제한 후 체중, BMI, 허리둘레, 엉덩이둘레, 허리-엉덩이둘레비, 허리둘레-키의 비율, 지방량과 체지방율이 유의하게 감소되었다($P < 0.05$). 그러나, 제지방량과 체수분량은 모두 열량 제한 식사 이전과 이후 유의적 차이를 보이지 않았다.

2. 식사 섭취량 변화

12주간의 열량 제한 식사 이전과 이후의 식사 섭취량 변화는 Table 2와 같다. 열량 제한 후 총 섭취 열량이 평균 354.7 kcal 감소하였으며, 탄수화물, 단백질과 지질 섭취량도 유의하게 감소하였다($P < 0.05$). 콜레스테롤 섭취량은 유의한 변화가 없었고, 식이섬유 섭취량도 열량

Table 2. Daily nutrients intakes of the subjects before and after calorie intake restriction

	Baseline	12 weeks	P value
Calories (kcal)	1,746.9±377.4	1,392.2±249.6	<0.05
Carbohydrate (g)	249.5±44.4	194.5±28.3	<0.05
Protein (g)	75.8±38.8	59.8±12.2	<0.05
Fat (g)	55.8±22.1	43.7±17.4	<0.05
Cholesterol (mg)	280.7±130.0	231.3±128.9	NS
Dietary fiber (g)	15.4±2.9	14.9±2.2	NS
Sodium (mg)	3,675.1±985.1	4,329.2±1301.9	NS
Calcium (mg)	528.8±182.1	491.2±166.5	NS
Phosphate (mg)	906.8±265.3	856.7±208.5	NS
Potassium (mg)	2,370.5±528.4	2,442.2±717.3	NS
Iron (mg)	12.2±3.1	11.8±4.0	NS
Vitamin A (μg RE)	656.7±457.8	728.8±586.3	NS
Vitamin C (mg)	86.9±45.4	111.1±45.2	<0.05
Vitamin B1 (mg)	1.2±0.5	1.0±0.3	NS
Vitamin B2 (mg)	1.1±0.3	0.9±0.2	NS
Vitamin E (mg α-TE)	11.2±4.7	11.1±3.7	NS

Values are Mean±SD.

NS, non-significant.

P value, significantly different before and after energy intake restriction by paired *t*-test.

제한 이전 15.4 ± 2.9 g에서 열량 제한 이후 14.9 ± 2.2 g으로 유의적 차이가 없이 일정량 섭취가 유지되었다. 나트륨과 칼륨, 칼슘, 인, 철분 등의 무기질 섭취량의 경우 열량 제한 식사 전과 후에 유의적 차이가 나타나지 않았으며, 비타민 C를 제외하고 다른 비타민의 섭취량은 유의적 차이를 보이지 않았다. 비타민 C의 경우 섭취량이 유의적으로 증가하는 결과를 보였다($P < 0.05$).

3. 내장지방, 피하지방, 근육 간 지방 및 근육의 변화

12주간의 열량 제한 식사 교육 이전과 이후의 내장지방, 피하지방, 근육간 지방 및 근육의 변화는 Table 3과 같다. 열량 제한 후 복부 피하지방, 내장지방, 대퇴부 피하지방과 대퇴부 근육 간 지방이 유의적으로 감소하였다($P < 0.05$). 특히 대퇴부 근육 간 지방 분포 면적의 경우 열량 제한 이전 4.82 ± 1.91 cm²에서 열량 제한 이후 4.18 ± 1.83 cm²으로 유의적 감소하였으며($P < 0.05$), 면적 감소율이 -9.6%로 가장 변화율이 높게 측정되었다. 또한 대퇴부 근육도 106.39 ± 14.57 cm²에서 열량 제한 이후 102.61 ± 13.75 cm²로 -3.3%의 변화율을 보였다($P < 0.05$). 내장지방 감소와 대퇴부 근육 간 지방 감소와의 상관관계를 살펴본 결과, 유의한 관계성을 보이지 않았다($r = 0.62, P = 0.09$).

Table 3. Adipose tissue distribution before and after calorie intake restriction

	Baseline	12 weeks	Percents of change	P value
L4-L5 SAT (cm ²)	290.82 ± 73.47	273.64 ± 77.26	-5.4	<0.05
L4-L5 VAT (cm ²)	85.36 ± 35.95	82.01 ± 34.79	-3.9	<0.05
Femur SAT (cm ²)	120.39 ± 29.26	109.56 ± 29.50	-7.7	<0.05
Femur Muscle (cm ²)	106.39 ± 14.57	102.61 ± 13.57	-3.3	<0.05
Femur IMAT (cm ²)	4.82 ± 1.91	4.18 ± 1.83	-9.6	<0.05

Values are Mean ± SD.

Before, before calorie intake restriction; After, after calorie intake restriction; NS, non-significant; SAT, subcutaneous adipose tissue; VAT, visceral adipose tissue; IMAT, intermuscular adipose tissue.

P value, significantly different before and after energy intake restriction by paired *t*-test.

Fig. 1. Correlation between change percents of visceral adipose tissue (VAT) and LDL-cholesterol.

4. 대사적 지표의 변화

12주간의 열량 제한 식사 교육 이전과 이후의 혈액 수치 변화는 Table 4와 같다. 열량 제한 후 공복 혈당, 총 콜레스테롤, AST, ALT, 렙틴과 혈압이 유의적으로 감소하였다($P < 0.05$). 혈중 인슐린, 중성지방과 HDL-C, LDL-C 수치에는 유의적 차이를 보이지 않았으나, HOMA-IR의 경우 1.66 ± 1.30 에서 1.31 ± 1.37 로 유의하게 감소하였다($P < 0.05$).

5. 체내 지방량 변화와 대사적 지표 변화와의 상관관계

체내 지방량 감소량과 대사적 지표 변화와의 관계를 Fig. 1과 Fig. 2에 나타내었다. 내장 지방량과 LDL-콜레스테롤과 상관관계를 분석한 결과(Fig. 1), 내장 지방량이 감소할수록 LDL-콜레스테롤 수치도 감소하는 상관관계를 보였다($r = 0.45, P = 0.01$). 대퇴부 근육 간 지방 분포와 HOMA-IR과의 상관관계를 분석한 결과(Fig. 2), 근육 간 지

Table 4. Metabolic variables before and after calorie intake restriction

	Baseline	12 weeks	Percents of change	P value
FBS (mg/dL)	90.12 ± 8.36	85.50 ± 7.01	-4.6	<0.01
Insulin	9.84 ± 15.93	6.16 ± 6.41	-17.5	NS
HOMA	1.66 ± 1.30	1.31 ± 1.37	-18.2	<0.05
Triglycerides	94.97 ± 42.27	88.38 ± 40.01	-4.8	NS
Total cholesterol	183.53 ± 33.16	170.18 ± 31.30	-6.2	<0.05
LDL cholesterol	112.35 ± 29.72	104.21 ± 26.98	-5.3	NS
HDL cholesterol	50.71 ± 9.51	48.24 ± 8.97	-3.6	NS
AST	20.38 ± 4.53	18.45 ± 3.02	-6.5	<0.05
ALT	18.38 ± 7.74	14.73 ± 4.76	-12.0	<0.05
Leptin	14.55 ± 6.18	11.43 ± 5.97	-18.0	<0.01
SBP (mm/Hg)	115.15 ± 15.27	106.89 ± 22.98	-6.8	<0.05
DBP (mm/Hg)	77.70 ± 11.41	74.50 ± 9.53	-4.6	<0.05

Values are Mean ± SD.

Before, before calorie intake restriction; After, after calorie intake restriction; NS, non-significant; FBS, fasting blood sugar; AST, aspartate aminotransferase; ALT, alanine aminotransferase; SBP, systolic blood pressure; DBP, diastolic blood pressure.

P value, significantly different before and after calorie intake restriction by paired *t*-test.

Fig. 2. Correlation between change percents of femur intermuscular adipose tissue (IMAT) and homeostasis model assessment insulin resistance (HOMA-IR).

지방량이 감소할수록 HOMA-IR값이 감소되는 상관관계를 보였다($r = 0.35, P = 0.04$).

고 찰

본 연구는 33명의 한국인 비만 여성에서 12주간의 열량 제한 식사에 의한 피하 지방, 내장 지방, 근육 간 지방량의 변화를 관찰하고, 이와 관련한 대사적 변화 및 인슐린 저항성 변화를 고찰하고자 하였다.

본 연구결과에서 12주간의 열량 제한 식사로 인하여 체중, 복부 피하 지방 용적과 내장 지방 용적, 대퇴부 피하 지방 용적뿐 아니라 근육 간 지방 용적이 9.6%가 감소된 것으로 나타났다. 체중 감소와 근육 간 지방과의 관련성에 대한 연구 결과는 다양하게 나타나는데, Malenfant¹¹은 체중 감량 후에도 근육 간 지방량이 유의적으로 감소하지 않았다고 보고하였지만, 다른 많은 연구들에서는 본 연구 결과와 일치하게 체중 감량과 함께 유의적으로 근육 간 지방량이 감소되었다고 보고하였다.^{9,12,13}

최근 외국에서는 저열량 식사와 운동이 근육 간 지방량의 감소에 미치는 영향에 대한 연구가 많이 진행되고 있다. 열량 제한 식사의 영향 없이 근력 운동만을 실시하거나, 근력운동과 유산소 운동을 병행한 경우에도 근육 간 지방량의 감소 효과가 없었다고 보고된 바 있다.^{14,15} 그러나, 식사요법만으로도 근육 간 지방량이 감소하였다고 보고하였다.¹⁶ 연구대상자들의 1일 필요열량의 800 kcal를 낮춘 16주간의 저열량 식사프로그램 시행 결과 근육 간 지방과 피하지방, 내장지방의 감소율이 각각 -18.5%, -21.0%, -31.5%로 나타나, 본 연구의 결과인 근육 간 지방, 피하지방, 내장지방의 감소율이 각각 -9.6%, -7.7%, -3.9%인 것과 비교하였을 때 체지방의 부위 및 체지방의 감소율에 차이가 있었다.¹⁶ 이는 열량 제한 양, 기간 및 인종에 따라서 다르게 나타난 것으로 사료된다. 또 다른 연구에서는 근력 운동과 근육 간 지방의 관련성을 설명해 주는 요인으로 아드레날린성 수용체(adrenergic receptor) 유전자 변이가 관계 있다고 보고하였는데, β -2 아드레날린성 수용체(ADRBeta2Glu27)의 유전자 변이가 있는 피험자들에게는 근력운동 후 IMAT이 감소하였지만, β -2 아드레날린성 수용체 유전자 변이가 없는 피험자들은 IMAT의 유의적 변화가 나타나지 않았다고 하였다.¹⁷ 근육 간 지방은 내장 지방과 독립적으로 인슐린 저항성 증가와 혈당 및 콜레스테롤 수준의 증가와 연관성이 있어 심혈관계 질환 발병과 관련되었음이 밝혀졌으나¹⁸, 국내에서는 근육 간 지방량 감소와 식사 또는 운동 등의 여러 요인과의 관련성에 대한 연구가 전무한 실정이다. 근육간 지방량 감소와 내장 지방량 감소는 베리아트릭 수술에 의해서는 일관성 있게 같이 감소하였다고 하는 반면¹⁹, 생활 습관에 변화에 따른 변화에 의해서는 내장지방량 감소와 근육 간 지방량 감소가 연관성이 없다고 보고한 결과가 있다.²⁰ 본 연구에서도 열량 제한에 따른

내장 지방량과 근육 간 지방량 감소가 유의적인 상관 관계를 나타내지 않았다. 추후 한국인을 대상으로 근육 간 지방량 감소 효과에 미치는 식사요법의 방법, 운동의 종류 등의 여러 요인에 대한 연구가 필요할 것으로 사료 된다.

본 연구 결과에서 체중 감량에 따른 내장 지방 면적이 유의적으로 감소하였고 LDL-콜레스테롤 수치와의 상관관계 분석 결과 내장 지방량이 감소할수록 LDL-콜레스테롤이 감소한 것으로 나타났다. LDL-콜레스테롤은 동맥경화 요인이며, 그 기전은 LDL-콜레스테롤이 산성화에 민감도가 높고 저밀도 지단백 수용체에 의한 인식이 감소되어 혈중 머무르는 시간이 길고 입자 크기가 작아 동맥벽으로 침투하는 능력이 증가되기 때문이라 알려져 있다. 복부 지방량은 증가할수록 전체 지방량과는 별개로 심혈관계 질환에 발생하는 것으로 보고되며²¹, 인슐린 민감성 저하와 이로 인한 대사증후군 발병과도 연관이 있다고 하였다. 내장지방이 많은 성인을 대상으로 혈중 지질 수준을 조사한 결과 LDL-콜레스테롤의 농도가 높고 비만, 특히 내장 지방량을 반영하는 허리-엉덩이 둘레비와 밀접한 연관이 있다고 보고하였다.^{16,22}

또한, 본 연구 결과에서는 열량 섭취 제한에 의해 근육 간 지방량이 유의하게 감소하였고, 근육 간 지방량의 감소는 인슐린 저항성의 감소와 유의한 상관관계를 보였다. 다른 연구에서도 인슐린 저항성은 내당능 장애, 고혈압, 고지혈증 등의 대사증후군의 예견 인자로서 총 체지방뿐만 아니라 복부지방, 피하지방, 근육 간 지방 등 지방 면적 분포 정도에 따라 결정된다고 보고된 바 있다.²³ 최근에 인슐린 저항성과 근육 간 지방량의 상관관계에 대한 연구가 활발해지면서 근육 간 지방량이 많아질수록 인슐린 저항성이 증가된다고 보고한 많은 연구들^{12,14,16,22}과 본 연구 결과와 일치하는 결과를 보였다. 근육 간 지방량의 감소에 따른 인슐린 저항성 감소의 정확한 기전은 밝혀지지 않았지만 근육 주변을 둘러싼 지방세포들이 근육으로 들어오는 혈류를 감소시키고 인슐린이 세포 안으로 확산되는 것을 막는 역할을 하기 때문에 근육 간 지방량이 감소됨에 따라 이 기전들이 완화되어 인슐린 저항성 감소와 연관이 있을 것으로 추측된다.²⁴

본 연구의 제한점은 33명의 여성만을 대상으로 12주간 실시한 소규모의 단기간 연구라는 점과 CT 측정을 통한 단면적인 지방 면적 분포만을 분석하였으며, 운동량 및 활동 정도에 대해 측정하지 못했다는 점이다.

본 연구는 처음으로 한국인을 대상으로 12주간의 열량 제한 식사로 피하지방뿐 아니라 대사적 위험과 밀접한 관련이 있는 내장지방이 감소하였고, 인슐린 저항성과 관련있는 근육 간 지방 또한 감소하였음을 밝혔다. 열량 제한으로 인한 소량의 체중 감소만으로도 체조성의 변화를 가져오며, 특히 내장 지방과 더불어 근육 간 지방을 감소함으로써 대사적 위험을 감소시키는 것으로 사료된다. 추후 성인 여성

뿐만 아니라 남성을 포함한 대규모의 연구가 필요할 것으로 생각되며, 단면적의 근육 간 지방에 대한 연구뿐 아니라 신체 전체의 근육 간 지방에 대한 연구가 필요하리라 사료 된다.

요 약

배경: 비만 여성에서 열량 제한에 따른 근육 간 지방의 변화를 알아보고, 근육 간 지방과 대사적 지표와의 연관성에 대해 알아보고자 하였다.

방법: 열량 제한 식사 교육프로그램을 참여한 33명의 체질량지수 25 이상인 폐경 전 성인 여성 중, CT 결과 수집이 가능한 대상자만을 선택하여 자료를 재분석하였다. SLICEOMATIC 이미지 분석법을 통하여 재분석하여 피하지방과 내장지방, 근육 간 지방량을 측정하였다.

결과: 체중과 BMI, 허리둘레, 엉덩이 둘레, 허리-엉덩이 둘레비, 키-허리둘레비와 체지방량과 체지방률 모두 유의적 감소를 보였으며, 피하지방과 내장지방, 근육 간 지방량도 유의적 감소를 보였다. 근육 간 지방량의 감소는 HOMA-IR 감소와 유의적인 관련성을 보였다.

결론: 12주간의 열량 제한 식사로 인하여 비만 성인 여성에서 내장지방뿐 아니라 근육 간 지방량도 감소하였으며, 이는 인슐린 저항성의 감소와도 관련이 있었다.

중심단어: 열량제한, 근육 간 지방, 비만

Conflicts of Interest

The authors have no conflicts of interest to declare.

References

- McArdle WD, Kaith FI, Katch VL. Exercise physiology: nutrition, energy, and human performance. 5th ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2001.
- Korea Centers for Disease Control and Prevention. Korea Health Statistics 2010: Korea National Health and Nutrition Examination Survey (KNHANES V -1). Seoul: Ministry of Health and Welfare; 2010.
- Calle EE, Rodriguez C, Walker-Thurmond K, Thun MJ. Overweight, obesity, and mortality from cancer in a prospectively studied cohort of U.S. adults. *N Engl J Med* 2003;348:1625-38.
- Kahn BB, Flier JS. Obesity and insulin resistance. *J Clin Invest* 2000; 106:473-81.
- Cho GO. Association with body mass index or body shape index and metabolic syndrome risk factors in Korean adults. *The Korean Journal of physical Education* 2013;52:449-56.
- Gallagher D, Kuznia P, Heshka S, Albu J, Heymsfield SB, Goodpaster B, et al. Adipose tissue in muscle: a novel depot similar in size to visceral adipose tissue. *Am J Clin Nutr* 2005;81:903-10.
- Yim JE, Heshka S, Albu J, Heymsfield S, Kuznia P, Harris T, et al. Intermuscular adipose tissue rivals visceral adipose tissue in independent associations with cardiovascular risk. *Int J Obes (Lond)* 2007; 31:1400-5.
- Albu JB, Kovera AJ, Allen L, Wainwright M, Berk E, Raja-khan N, et al. Independent association of insulin resistance with larger amounts of intermuscular adipose tissue and a greater acute insulin response to glucose in African American than in white nondiabetic women. *Am J Clin Nutr* 2005;82:1210-7.
- Janssen I, Fortier A, Hudson R, Ross R. Effects of an energy-restrictive diet with or without exercise on abdominal fat, intermuscular fat, and metabolic risk factors in obese women. *Diabetes Care* 2005; 25:431-8.
- Lee J, Lee H, Yim J, Kim Y, Choue R. Effects of medical nutrition therapy on changes of anthropometric measurements, dietary pattern and blood parameters in overweight or obese women. *Korean J Nutr* 2005;38:432-44.
- Malenfant P, Tremblay A, Doucet E, Imbeault P, Simoneau JA, Joannisse DR. Elevated intramyocellular lipid concentration in obese subjects is not reduced after diet and exercise training. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 2001;280:E632-9.
- Goodpaster BH, Kelley DE, Wing RR, Meier A, Thaete FL. Effects of weight loss on regional fat distribution and insulin sensitivity in obesity. *Diabetes* 1999;48:839-47.
- Greco AV, Mingrone G, Giancaterini A, Manco M, Morroni M, Cinti S, et al. Insulin resistance in morbid obesity: reversal with intramyocellular fat depletion. *Diabetes* 2002;51:144-51.
- Ryan AS, Nicklas BJ, Berman DM, Dennis KE. Dietary restriction and walking reduce fat deposition in the mid thigh in obese older women. *Am J Clin Nutr* 2000;72:708-13.
- Mazzali G, Di Francesco V, Zoico E, Fantin F, Zamboni G, Benati C, et al. Interrelations between fat distribution, muscle lipid content, adipocytokines, and insulin resistance: effect of moderate weight loss in older women. *Am J Clin Nutr* 2006;84:1193-9.
- Kim JH. Effects of a hypocaloric diet with or without strength training on intermuscular adipose tissue mass and serum lipid concentrations in obese elderly women. *J Exerc Nutr Biochem* 2009;13:9-14.

17. Yao L, Delmonico MJ, Roth SM, Hand BD, Johns J, Conway J, et al. Adrenergic receptor genotype influence on mid thigh intermuscular fat response to strength training in middle-aged and older adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2007;62:658-63.
18. Nieves DJ, Cnop M, Retzlaff B, Walden CE, Brunzell JD, Knopp RH, et al. The atherogenic lipoprotein profile associated with obesity and insulin resistance is largely attributable to intra-abdominal fat. *Diabetes* 2003;52:172-9.
19. Toro-Ramos T, Goodpaster BH, Janumala I, Lin S, Strain GW, Thornton JC, et al. Continued loss in visceral and intermuscular adipose tissue in weight-stable women following bariatric surgery. *Obesity (Silver Spring)* 2015;23:62-9.
20. Gallagher D, Heshka S, Kelley DE, Thornton J, Boxt L, Pi-Sunyer FX, et al. Changes in adipose tissue depots and metabolic markers following a 1-year diet and exercise intervention in overweight and obese patients with type 2 diabetes. *Diabetes Care* 2014;37:3325-32.
21. Galeano NF, Al-Haidari M, Keyserman F, Rumsey SC, Deckelbaum RJ. Small dense low density lipoprotein has increased affinity for LDL receptor-independent cell surface binding sites: a potential mechanism for increased atherogenicity. *J Lipid Res* 1998;39:1263-73.
22. Schneider HJ, Klotzsch J, Silber S, Stalla GK, Wittchen HU. Measuring abdominal obesity: effects of height on distribution of cardiometabolic risk factors risk using waist circumference and waist-to-height ratio. *Diabetes Care* 2011;34:e7.
23. Bonora E, Kiechl S, Willeit J, Oberhollenzer F, Egger G, Meigs JB, et al. Insulin resistance as estimated by homeostasis model assessment predicts incident symptomatic cardiovascular disease in Caucasian subjects from the general population: the Bruneck study. *Diabetes Care* 2007;30:318-24.
24. Manini TM, Clark BC, Nalls MA, Goodpaster BH, Ploutz-Snyder LL, Harris TB. Reduced physical activity increases intermuscular adipose tissue in healthy young adults. *Am J Clin Nutr* 2007;85:377-84.